

Nikolaos Hyvönen

SUOJARELEKAAPIN SUUNNITTELU

SUOJARELEKAAPIN SUUNNITTELU

Nikolaos Hyvönen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkövoimatekniikka

Tekijä: Nikolaos Hyvönen
Opinnäytetyön nimi: Suojarelekaapin suunnittelu
Työn ohjaajat: Pekka Rantala (Oamk), Juho Jaakkola (Oulun Energia Urakointi Oy)
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 46 + 10 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella suojareleitä sisältävä kaappi, jolla esitellään releiden toimintaa ja niiden koestusta sähköalan messuilla sekä muissa tapahtumissa ja asiakastapaamisissa. Kaapin avulla on tarkoitus mainostaa Oulun Energia Urakointi Oy:n toimintaa ja palveluja sähköasemiin, suojareleisiin ja releiden koestukseen liittyen. Lisäksi releiden valmistajat saavat kaapin avulla releilleen mainostusta.

Suunnittelu sisälsi kokoonpanokuvien, reikäkuvien, piirikaavioiden ja johdotus-
taulukoiden teon. Lisäksi opinnäytetyöhön kuului osallistuminen kaapin asennukseen sekä tutustuminen yhden suojareleiden konfigurointiin. Suunnittelussa ja opinnäytetyön aikana käytettiin Autodesk AutoCad, Microsoft Excel ja eSetup Easergy Pro -ohjelmistoja.

Tulokset ja suunnitelmat ovat opinnäytetyön liitteenä. Suunnitelmista tuli onnistuneet ja niiden avulla suojarelekaapista saatiin toimiva kokonaisuus. Kaappi sisältää tarvittavat ominaisuudet toiminnan havainnollista esittelyä varten. Valmis suojarelekaappi toimii jatkossa myös testausalustana ja suojareleiden käytön opastuksessa. Liitteenä olevat sähköpiirrokset ovat salaisia netissä julkaistussa versiossa toimeksiantajan pyynnöstä.

Asiasanat: sähkösuunnittelu, suojarele, suojarelekaappi, sähköasema, sähköverkko, relesuojaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical Engineering, Electrical Power Engineering

Author: Nikolaos Hyvönen

Title of thesis: Designing Protective Relay Cabinet

Supervisors: Pekka Rantala (Oamk), Juho Jaakkola (Oulun Energia Urakointi Oy)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 46 + 10 appendices

The aim of the thesis was to design a cabinet with protective equipment, which would present relays and their testing at electrical fairs as well as various events and customer meetings. The purpose of the cabinet is to promote the services of Oulun Energia Urakointi Oy for substations, protection relays and relay testing.

Design includes drawing electrical pictures, circuit diagrams and wiring diagrams. In addition, the thesis included participation in the installing of the cabinet as well as familiarizing oneself with the configuration of the protective relays. Programs such as Autodesk AutoCad, Microsoft Excel and eSetup Easergy Pro were used in the designing of the cabinet.

The results and plans are attached to the thesis. The plans were successful and made it possible for the protective relay cabinet to be a functional unit. The cabinet contains the necessary features for illustrative demonstration. The assembled relay cabinet will continue to serve as a testing platform and as an educational tool about using of protective relays.

Keywords: electrical Design, protective relay, protective relay cabinet, substation, power grid, relay protection

ALKULAUSE

Haluan kiittää Oulun Energia Urakointi Oy:tä mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta. Erityisesti kiitos Juho Jaakkolalle opinnäytetyön ohjaamisesta ja lukuisiin kysymyksiin vastaamisesta. Suuret kiitokset myös Esa Nissille, Aleksi Ukkolalle, Sami Kinnuselle ja Timo Hannuniemelle kaapin asennustyöstä. Kiitokset myös Jari-Pekka Maliselle, Antero Martimolle, Toni Korpelalle ja Pasi Tiensuulle avusta opinnäytetyöhön liittyen. Oamkin Pekka Rantalalle kiitokset selkeästä ja perusteellisesta opinnäytetyön ohjaamisesta sekä opetuksesta. Opinnäytetyön aikana opin paljon uutta sähköverkon suojaamisesta sekä suojaruleistiksestä. Työ oli erittäin opettavainen sekä hyödyllinen itselleni. Sain sen aikana paljon käytännön kokemusta sähkösuunnittelutyöstä sähköaseman suojauksiin ja automaatioon liittyen.

18.4.2018

Nikolaos Hyvönen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	10
2 SÄHKÖASEMAN RELESUOJAUS	11
2.1 Sähköasema	11
2.2 Suojareleet	12
2.3 Relesuojauksen vaatimukset	15
2.4 Sähköaseman automaatio	16
2.5 Releillä tunnistettavat viat ja suojaustyypit	17
2.6 IEC 61850 -standardi	17
3 SUOJARELEKAAPIN SUUNNITTELU	19
3.1 Käytettävät laitteet	20
3.1.1 Suojareleet	20
3.1.2 Hälytyskeskus	23
3.1.3 Ala-asema	24
3.1.4 Ethernet-kytkin	24
3.2 Kokoonpanokuva	24
3.3 Pääkaavio	26
3.4 Reikäkuvat	27
3.5 Piirikaaviot	28
3.5.1 Releiden suojauskaaviot	29
3.5.2 Ohjaukset	30
3.5.3 Suojareleen digitaalitulot	31
3.5.4 Suojareleen digitaallilähdöt	32
3.5.5 Beckhoff-hälytyskeskus	33
3.6 Johdotustaulukko	33
4 TOTEUTUS	35
4.1 Kasaaminen	35

4.2 Suojareleiden konfigurointi	38
4.3 Koestus	41
5 POHDINTA JA LOPPUTULOKSEN ARVIOINTI	43
LÄHTEET	44

LIITTEET (Salaisia toimeksiantajan pyynnöstä)

Liite 1 Kokoonpanokuva

Liite 2 Reikäkuvat

Liite 3 Pääkaavio

Liite 4 Releiden apusähköt

Liite 5 Siemens 7UT85 –piirikaaviot

Liite 6 ABB REF630 –piirikaaviot

Liite 7 Schneider Electric P3F30 –piirikaaviot

Liite 8 Beckhoff-hälytyskeskuksen piirikaaviot

Liite 9 Ruggedcom-kytkimen piirikaaviot

Liite 10 Johdotustaulukko

SANASTO

AC	Alternating Current Vaihtovirta
BI	Binary Input Binäärinen tulo
CB	Circuit Breaker Katkaisija
CBFP	Circuit Breaker Fault Protection Katkaisijavikasuoja
DC	Direct Current Tasavirta
DI	Digital Input Digitaalitulo
DO	Digital Output Digitaalilähtö
GSE	Generic Substation Events
Io	Nollavirta (A)
L1	Vaiheen 1 virta (A)
L2	Vaiheen 2 virta (A)
L3	Vaiheen 3 virta (A)
PE	Protective Earth Suojamaa
U0	Nollajännite (V)
U1	Vaiheen 1 jännite (V)
U2	Vaiheen 2 jännite (V)
U3	Vaiheen 3 jännite (V)
Analog	Analoginen
Auto Reclose	Jälleenkytkentä
Breaker	Katkaisija

Configure	Konfiguroida
Control	Ohjata
Fault	Vika
Latching Relay	Kippirele
Logic	Logiikka
Measurement	Mittaus
Module	Moduuli
Output	Lähtö
Phase	Vaihe
Reset	Nollata
Scada	Supervisory Control and Data Acquisition Käytönvalvontajärjestelmä
Timer	Ajastin
Trip	Laukaisu

1 JOHDANTO

Oulun Energia Urakointi Oy:llä on ollut tarve mainostaa toimintaansa asiakkaille ja yhteistyökumppaneille. Oulun Energia Urakointi Oy tarjoaa palveluitaan verkostopuolella liittyen mm. sähköasemien suojarlekoestuksiin, releiden ohjelmointiin sekä konfigurointiin. Heillä on ollut mielessään suojarlekaappi, jonka avulla saataisiin mainosta ja näkyvyyttä asiakastapaamisissa ja messuilla. Aika ei ollut kuitenkaan vielä riittänyt kaapin suunnitteluun ja toteutukseen.

Työn tavoitteena oli suunnitella suojarlekaappi, jolla suojarleiden toiminta ja niiden koestuksen esittely onnistuvat havainnollisesti ja selkeästi. Kokonaisuuden on tarkoitus esittää tyypillisellä sähköasemalla sijaitsevaa relekaappia. Opin näytetyöhön kuuluu yleinen suunnittelu, layout-kuvien, piirikaavioiden, pääkaaviokuvien piirtäminen, johdotustaulukon teko sekä kaapin asennuksiin osallistuminen. Lisäksi työhön kuuluu yhden suojarleen konfigurointiin tutustuminen. Opinnäytetyö ei sisällä kaikkien releiden ja laitteiden konfigurointia eikä ala-aseman tai Scadan ohjelmointia käyttöön.

Valmis kokonaisuus on tarkoitus esitellä mm. Sähkö Tele Valo AV -messuilla Jyväskylässä keväällä 2018. Suojarlekaappi toimii jatkossa myös testausalustana ja suojarleiden käytön opastuksen apuna asentajille.

2 SÄHKÖASEMAN RELESUOJAUS

2.1 Sähköasema

Sähköasemalla tarkoitetaan siirto- tai jakeluverkon kohtaa, jossa voidaan suorittaa kytkentöjä, jännitteen muuntamista tai sähköenergian jakoa eri johdoille (kuva 1). Sähköasemasta on käytössä myös nimitykset kytkinasema ja kytkinlaitos. Sähköasemilla sijaitsee useita erilaisia kohteita ja laitteita, jotka liittyvät esimerkiksi valvontaan, sähkönmittaamiseen ja aseman suojaukseen vikojen sattuessa. Sähköasemalla sijaitsevat myös katkaisijat ja erottimet. Katkaisijaa käytetään kuormitetun virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen. Katkaisijan on kestävä vian sattuessa oikosulkuvirta. Erottimia käytetään virtapiirin erottamiseen ja yhdistämiseen, kun se on kuormittamaton. Sähköasemalla sijaitsevat mittamuuntajat muuntavat jännitettä ja virtoja mittalaitteille sopiviksi. (1, s. 9.)

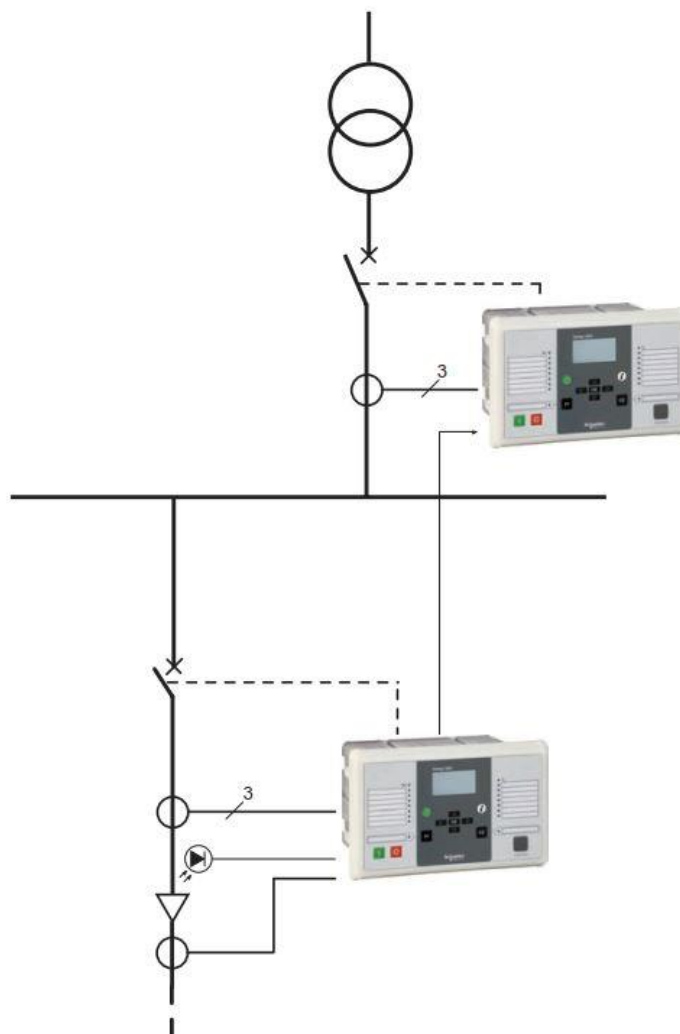


KUVA 1. Sähköasema ja kytkinkenttä (2).

2.2 Suojareleet

Suojareleen tehtävänä on suojata kohdetta vian sattuessa niin että vahingot jäisivät mahdollisimman pieniksi. Se on mittaava laite, joka toimii tietyllä mitasuureen arvolla. Rele havahtuu, kun mitattava suure ohittaa releeseen asetetun toiminta-arvon ja antaa toiminta-ajan kuluttua laukaisukäskyn katkaisijalle. (3, s. 221.)

Sähköasemalla suojareleet ohjaavat katkaisijoita, erottimia ja maadoituserottimia. Näitä on sähköasemalla käytössä mm. johtolähdöissä, syöttökentässä sekä muuntajan ensiö- ja toisiopuolella. Suojareleisiin on kytkettynä virta- ja jännitemittauksia mittamuuntajien kautta, joiden avulla suojarele seuraa toimiiko sähköaseman sähkönjakelu turvallisesti ja oikein. Mittamuuntajat muuntavat virrat ja jännitteet releille sopivaan muotoon. Suojareleisiin on kytkettynä myös valokaarisensoreita, joiden avulla rele havaitsee valokaaren ja toimii valokaarisuojana. (4, s. 7.) Kuvassa 2 on esitetty syöttökentän ja johtolähdön suojaus sähköaseman sisällä ja releiden sijainti sähkönsiirtoketjussa.



KUVA 2. Kaaviokuva sähköaseman syöttökentän ja johtolähdön suojauksesta VAMP 300F -releellä (5, s. 288).

Sähköverkossa tapahtuvien vikojen varalta sähköasemat varustetaan nopeilla katkaisijoilla, jotta vioittunut verkon osa saadaan erotettua muusta verkosta. Näiden katkaisijoiden ohjaamiseen käytetään suojareleitä. Suojareleet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja verkon vikaantuessa ne antavat laukaisusignaalin katkaisijalle. Lisäksi suojareleet saadaan antamaan hälytyksiä ja tietoa tilastaan Scadaan. Scadalla tarkoitetaan käytönvalvontajärjestelmää, johon sähköasema on yhteydessä ala-aseman kautta. Sen avulla valvotaan verkon tilaa ja ohjataan sen eri osia. Relesuojausta käytetään pääasiassa keskijänniteverkossa ja sitä suu-

remmilla jännitetasoilla. Pienjänniteverkkojen suojauksessa käytetään pienjännitekatkaisijoita sisään rakennetulla suojauksella sekä varokkeita ja varokeauto-
maatteja. (4, s. 7.)

Suojareleitä on käytössä useissa erilaisissa kohteissa, joissa tarvitaan nopeaa virran katkaisua. Suojareleiden suojauskohteita voivat olla esimerkiksi muuntajat, johdot, generaattorit, moottorit, kondensaattorit ja kiskot. Sähköverkossa relesuojauksella vikojen olemassaolo pyritään aina tunnistamaan nopeasti ja rajaamaan vikat mahdollisimman pienelle alueelle. Releiden avulla ei voida kuitenkaan rajoittaa oikosulkuvirtaa kuten sulakkeilla. Relesuojauksen tulee toimia aina luotettavasti. Vian havaitsemattomuus tai aiheeton toiminta voi aiheuttaa vahinkoja sähköverkolle ja ihmisiä voi joutua vaaraan. (6, s. 3.)

Nykyään käytössä olevat modernit mikroprosessorilla varustetut suojareleet sisältävät useita ominaisuuksia. Ne toimivat nopeammin ja tarkemmin kuin vanhanmalliset mekaaniset ja staattiset releet. Vikoja voidaan tarkastella myös jälkeenpäin häiriötallennuksen avulla. Suojareleiden näytöissä oleva mimiikka havainnollistaa suojattavan kohteen tilaa (kuva 3). Sen avulla käyttäjälle saadaan reaaliaikaisesti näkymään mittaukset sekä katkaisijoiden ja erottimien asennot. Suojareleistä löytyvä väyläliitäntä mahdollistaa mm. katkaisijoiden ohjauksen etänä. Väyläliitännän avulla suojareleet voivat olla yhteydessä toisiinsa, hälytyskeskukseen, ala-asemaan sekä Scadaan. (6, s. 11.)



KUVA 3. Schneider Electric P3F30 -suojareleen näytön mimiikka.

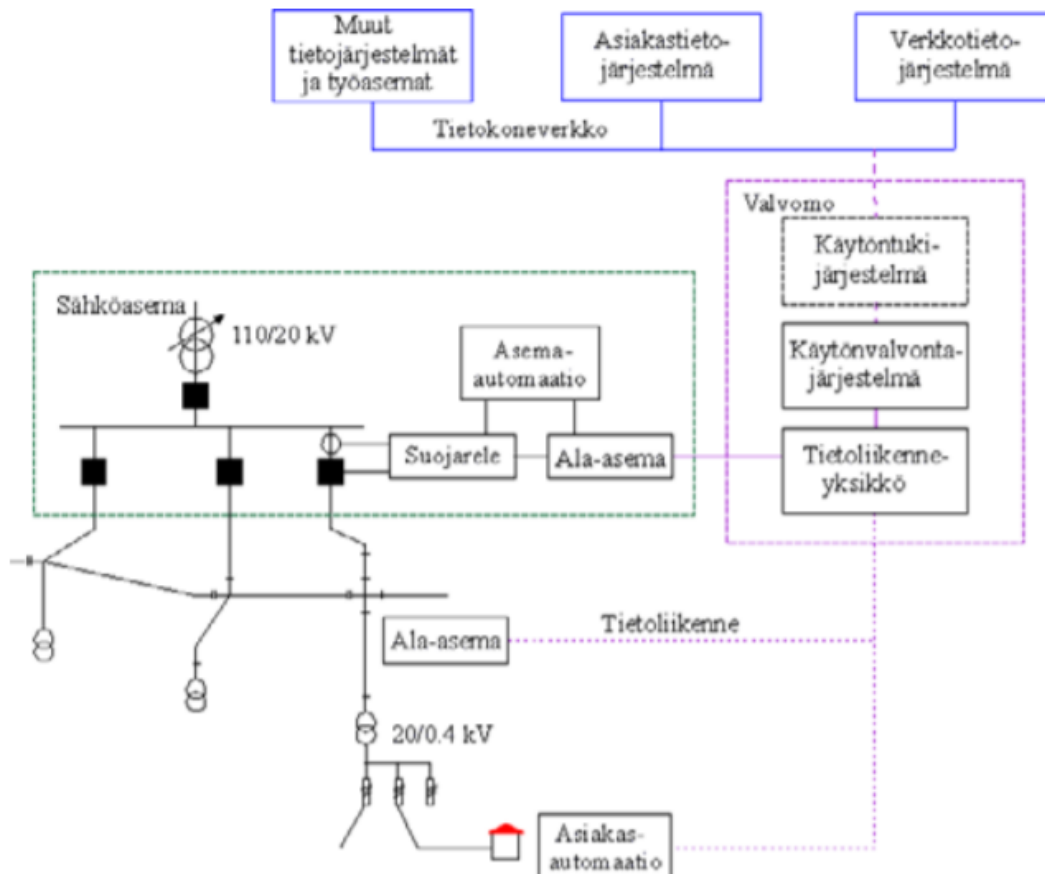
2.3 Relesuojauksen vaatimukset

Relesuojauksen toiminnan on oltava selektiivistä. Tällöin vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä. Toinen tärkeä vaatimus on suoja-releen nopea ja herkkä toiminta. Sähköasemilla ja verkossa tapahtuvat vikatilanteet eivät saa aiheuttaa vaaraa turvallisuudelle. Nopealla sähköjen poiskytkennällä haitat ja vauriot jäävät kohtuullisiksi. Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava alue. Sen on oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen. Suojaus on pystyttävä koestamaan käyttöpaikalla, jotta toimivuudesta saadaan varmuus. Käytettävyyden tulee olla hyvä. Suojauksen on hyvä olla myös hankintakustannuksiltaan kohtuullinen. (4, s. 7.)

2.4 Sähköaseman automaatio

Sähköaseman automaatioon kuuluu sähköaseman kaukokäyttö sekä erilaisia paikallisohjauksia ja paikallista kunnonvalvontaa. Relesuojaus, johtolähtöjen jälleenkytkentä ja muuntajan jännitteensäätö ovat käytössä lähes kaikilla sähköasemilla. (4, s. 3.)

Sähköaseman automaatiota käytetään mm. muuntajien, katkaisijoiden, erottimien, releiden ja apusähköjärjestelmien ohjaukseen ja valvontaan. Automaation kehitys on menossa suuntaan, jossa keskitetystä järjestelmästä siirrytään hajautettuun järjestelmään. Näin osa toiminnoista, jotka on aikaisemmin tehty valvomon kautta, saadaan siirrettyä sähköasemille itsenäisesti suoritettaviksi. Näin valvomosta vapautuu kapasiteettia muihin tehtäviin (kuva 4). (4, s. 4.)



KUVA 4. Valvomoon ja sähköasemaan liittyvää automaatiota ja tiedonkulkua. (4, s. 10).

2.5 Releillä tunnistettavat viat ja suojaustyypit

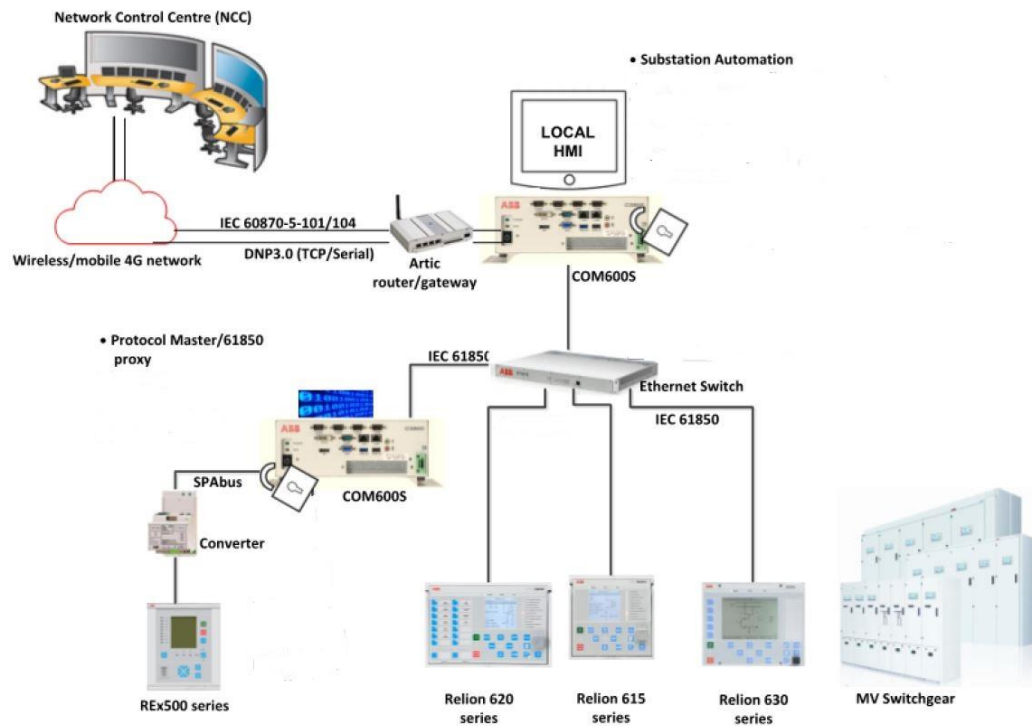
Käyttökeskeytysten määrä sähköverkoissa pyritään pitämään pienenä. Yleisimpiä sähköverkkojen vikatapauksia ovat oikosulut ja maasulut. Niitä voivat aiheuttaa mm. salaman iskut, myrsky, laitteiden vioittuminen sekä inhimilliset erehdykset. (4, s. 6.)

Suojareleillä tunnistettavia vikatilanteita ovat muun muassa oikosulku, maasulku, ylikuorma, yli- ja alijännite, yli- ja alitaajuus, ali-impedanssi, vinokuorma, erovirta ja valokaari. Suojareleet voidaan jakaa mitattavan suureen perusteella ryhmiin: ylivirtareleet, ali- ja ylijännitereleet, taajuusreleet, suunta- ja tehoreleet, epäsymmetriareleet, differentiaalireleet sekä distanssireleet. Nykyaikaiset digitaaliset suojareleet voivat hoitaa useamman releryhmän tehtäviä saman aikaisesti. (4, s. 6.)

2.6 IEC 61850 -standardi

IEC 61850 on sähköasemien automaatioissa ja tiedonkulussa käytettävä tietoliikennestandardi. Se täyttää yhtenäisen globaalin standardin tarpeen koskien sähköaseman kriittisten automaatiolaitteiden käyttöä, reaaliaikaista kommunikointia ja tiedonsiirtoa. Ominaisuudet sisältävät mm. nopean tapahtumien tiedonsiirron (GSE) ja ohjauksien lähetyksen. Eri valmistajien suojareleet tukevat tätä standardia, mikä mahdollistaa niiden yhdessä toimimisen ja tiedon vaihdon väyliitännän avulla. ABB on ollut keskeisessä asemassa globaalin standardin kehittämisessä. (7)

Suojareleiden konfiguroinnissa voidaan valita halutut tiedot, jotka lähetetään väylää pitkin eteenpäin. Kuvassa 5 näkyy IEC 61850 -standardin mukaisen tiedon kulkeutuminen suorareleeltä kytkimelle ja sieltä eteenpäin ala-asemalle ja Scadaan.



KUVA 5. Esimerkkikuva tiedonsiirrosta suojarileiltä ethernet-kytkimelle ja sieltä eteenpäin ala-asemalle ja Scadaan (NCC). (8, s. 10).

3 SUOJARELEKAAPIN SUUNNITTELU

Suojarelekaapin on tarkoitus esittää sähköasemalla sijaitsevaa kokonaisuutta sisältäen muuntajan suojauksen, syöttökentän suojauksen sekä johtolähdön suojauksen. Suojareleiden ja hälytyskeskuksen toiminta on samanlaista kuin oikeassa sähköasemakohteessa. Katkaisijoita ja erottimia pitää pystyä mallintamaan niin että suojareleet toimivat samoin kuin oikeiden katkaisijoiden ja erottimien kanssa. Kaapin pitää sisältää usean eri valmistajan suojareleitä. Suojareleet pitää voida koestaa ja testata helposti. Kaapeiksi oli käytössä vanhasta kohteesta puretut ABB MNS Select -kaapit (kuvat 6 ja 7). Suunnittelussa käytettiin Autodesk AutoCad LT 2018 -ohjelmistoa kuvien piirtämiseen ja Exceliä johdotustaulukon tekemiseen.



KUVA 6. ABB-kaappi tyhjänä sivusta.



KUVA 7. ABB-kaappi tyhjänä edestä. Kuvassa kaksi samanlaista kaappia.

3.1 Käytettävät laitteet

3.1.1 Suojareleet

Kaappiin haluttiin valituilta relevalmistajalta niin sanotut ”lippulaivamallit”. Suojareleinä päädyttiin käyttämään kolmen eri valmistajan suojareleitä. Näin kaapista tulee monipuolinen ja sitä voi käyttää myös eri suojareleiden konfiguraation opettelussa ja testaamisessa. Uutta suojarelettä valittaessa piti selvittää tarvittavat ominaisuudet, suojaukset sekä tulojen ja lähtöjen määrä. Ominaisuuksien valinnan mukaan saatiin muodostettua tilauskoodi suojareleelle valmistajien nettisivuilla.

Johtolähdönsuoja

Käyttöön saatiin uusi vasta markkinoille tullut Schneider Electric Easergy P3F30-rele (kuva 8). Kyseinen rele toimii johtolähdön suojana. Vastaavaa mallia on ennen valmistanut suomalainen VAMP-yritys, joka toimii nykyään Schneider Electricin alaisuudessa. Kaappiin saatu yksilö sisältää reilusti digitaalituloja ja -lähtöjä. Suojareleen suunniteltiin toimivan myös valokaarisuojana, mutta kyseisestä yksilöstä puuttui tarvittava kortti anturin kytkennälle. Valokaarisuojaus jätettiin kuitenkin optioksi suunnitelmiin tulevaisuutta varten (Piirikaavio liitteessä 7 lehti 4). Koestuksessa P3F30-releen osalta haluttiin saada tietää auki- ja kiinniohjauksen toiminta-ajat sekä katkaisijan virkaa toimittavan kippireleen katkaisunopeus. P3F30-releellä suunniteltiin tehtävän pika- ja aikajälleenkytkentää. Jotta koestuslaite saa tarvittavat tiedot ja laskettua toiminta-ajat, releen digitaaliulostuloja on kytketty ohjattavan katkaisijan lisäksi myös kaapin etupuoletille banaaniliittimille.



KUVA 8. Schneider Electric Easergy P3F30 –suojarele.

Syöttökentän suoja

Toiseksi suojareleeksi valittiin ABB REF 630 -suojarele (kuva 9). Tätä relettä käytetään syöttökentän suojaukseen. Tulojen ja lähtöjen määrä on runsas ja riittää hyvin kytkentöihin. Ominaisuuksiltaan REF 630 -rele on samankaltainen kuin P3F30-rele ja sisältää valmiiksi tarvittavat suojaukset mm. oikosulkusuojaus, ylikuorman tunnistus, yli- ja alijännitteen havaitseminen sekä yli- ja alitaajuuden havaitseminen.



KUVA 9. ABB REF 630 -suojarele.

Muuntajasuoja

Kolmanneksi suojareleeksi haluttiin Siemensin valmistama rele. Siemensin sivulta löytyvällä valintaohjelmalla haettiin tarvittavilla ominaisuuksilla olevia suojareleitä. Sivusto antaa tuotekoodin, jonka avulla juuri kyseisillä ominaisuuksilla varustetun suojareleen saa tilattua. Suojareleestä oli löydettävä differentiaalisuojaus sekä riittävä määrä digitaalituloja ja -lähtöjä. Lopulta päädyttiin tilaamaan Siemens Siprotec 7UT85 -rele (kuva 10). Releeseen valittiin lisäkorttina IO211,

jotta sisään- ja ulostulot riittäisivät. Kyseinen rele on differentiaalirele, joka pystytään vertaamaan muuntajan ylä- ja alajännitepuolen mitattuja virtatietoja ja näin varmistamaan, että mittauspisteiden välillä ei synny erovirtaa esimerkiksi maasulusta johtuen. Releellä siis toteutettiin kuvitellun 110/20 kV -muuntajan ensiö- ja toisiopuolen vertailu.



KUVA 10. Siemens Siprotec 7UT85 (9).

3.1.2 Hälytyskeskus

Hälytyskeskuksena toimii Beckhoff CX9020-0111. Kyseessä on modulaarinen laitteisto, johon lisäkorttien avulla sai hankittua eri toimintoja mm. digitaalituloja ja lähtöjä sekä mittaustuloja. Hälytyskeskuksen näyttöön saadaan näkymään esimerkiksi jokaisen suojareleen reaaliaikainen tila, kaapin lämpötila ja apusähkön jännite. Laite seuraa jokaisen suojareleen tilaa ja päällä pysymistä ja tekee tarvittaessa hälytyksen, mikäli jokin suojarele lakkaa toimimasta.

3.1.3 Ala-asema

Ala-asemaksi suunniteltiin ABB COM600 Rack-mallia. Sille oli varattu tila kääntökehyksen räkistä. Lopulta ala-asemaksi tuli käyttöön ABB RTU540, joka asennettiin kaapin sisälle DIN-kiskoon. Ala-asema on yhteydessä suojarелеisiin ja lähettää niiltä saadun tiedon eteenpäin Scada-järjestelmään.

3.1.4 Ethernet-kytkin

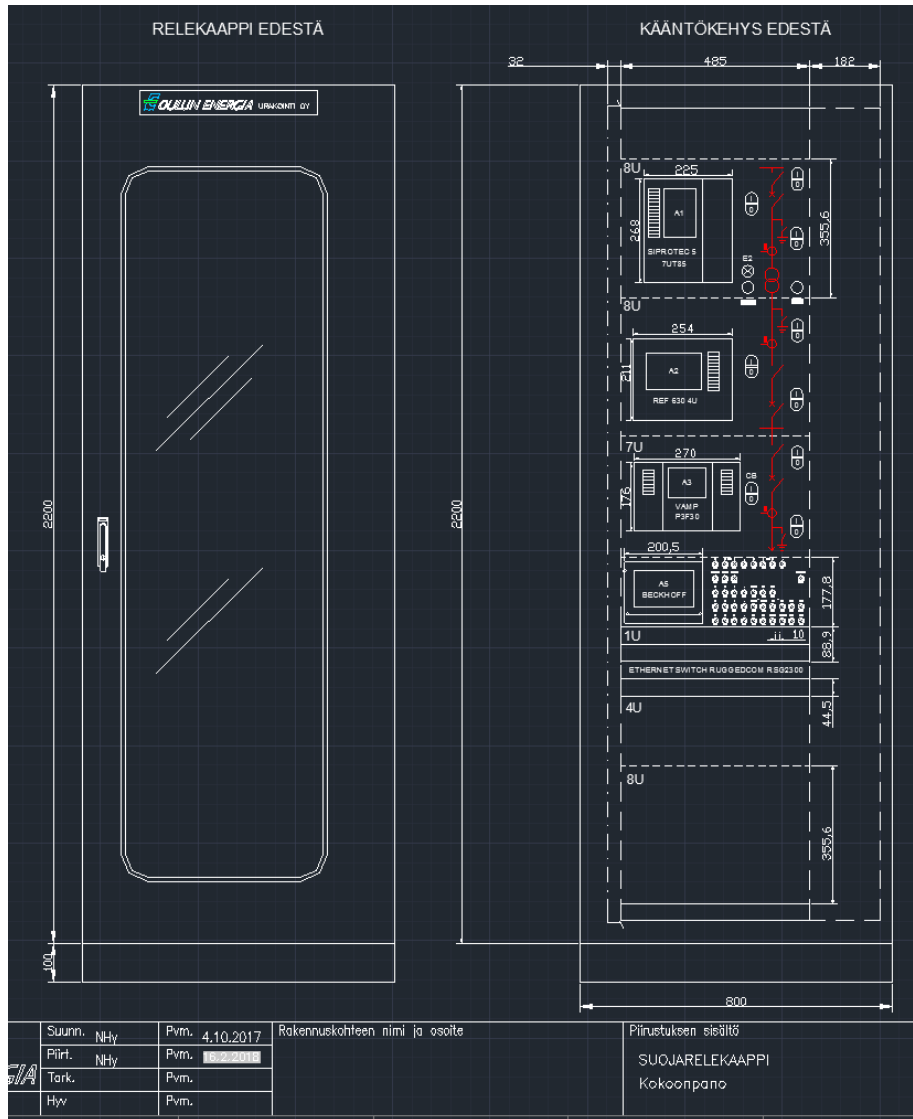
SIEMENS Ruggedcom RSG2100 toimii ethernet-kytkimenä, joka jakaa väylätietoa ala-aseman, suojarелеiden ja hälytyskeskuksen kesken. Kyseiseen kytkimeen päädyttiin, koska se oli luotettavaksi ja laadukkaaksi todettu malli ja käytössä useissa oikeissa kohteissa.

3.2 Kokoonpanokuva

Suunnitelmien piirtäminen lähti liikkeelle kokoonpanokuvan tekemisestä (kuva 11). Kaapin sisälle oli saatava mahtumaan kaikki tarvittava laitteista kaapelointiin. Laitteita pystyttiin sommittelemaan AutoCadissä oikean kokoisina kaapin sisälle ja varmistumaan siitä, että asentaessa ne mahtuisivat oikeille paikoilleen. Suojarелеet suunniteltiin asennettavan kaapin kääntökehykseen tuleviin levyihin. Suojarелеiden koot piti selvittää tarkasti ja sovittaa ne sopivan kokosiin levyjen palaasiin. Kääntökehykseen piti saada mahtumaan myös käsikäyttöiset painonapit katkaisijoiden ja erottimien ohjaukseen. Kokoonpanokuva piirrettiin mittakaavassa 1:10.

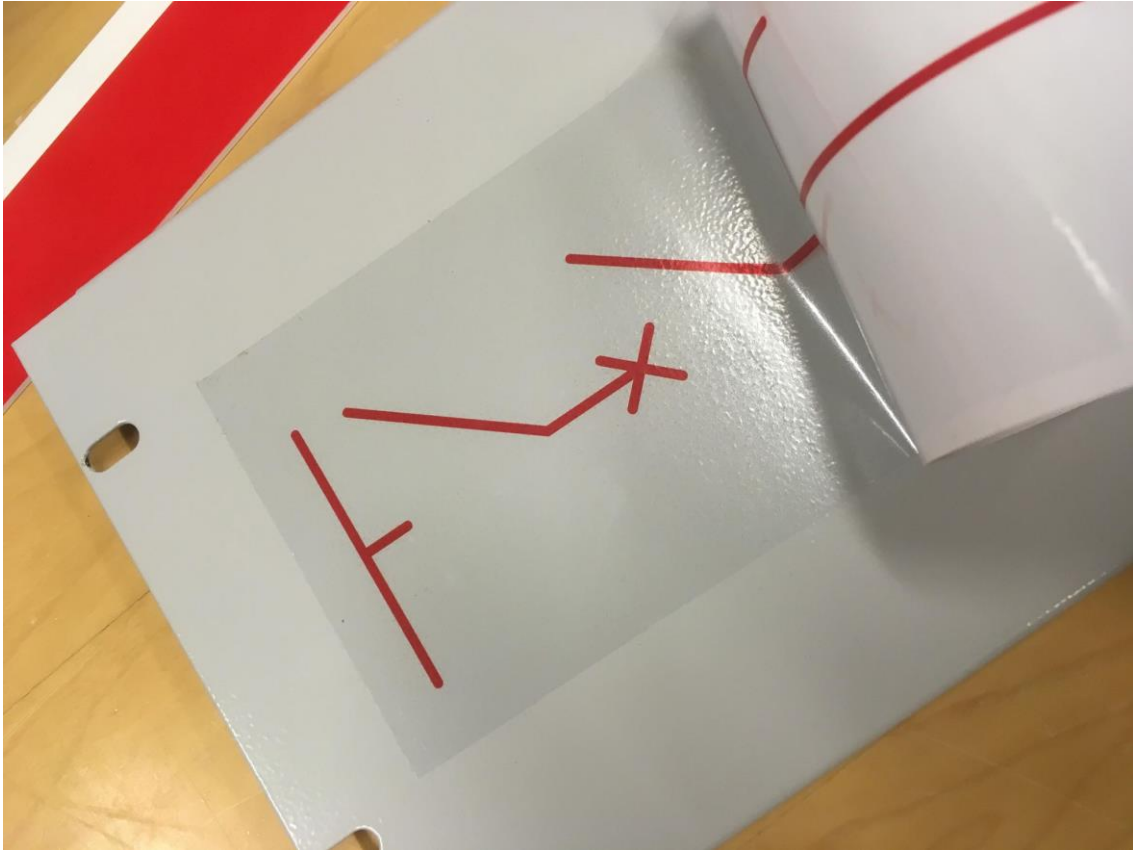
Releille tulevat jännitteen- ja virranmittaussignaalit suunniteltiin tulevan Omicron-koestuslaitteelta. Näin simuloitiin oikeaa tilannetta sähköasemalla, jossa suojarелеet ovat kytketty mittamuuntajiin ja sitä kautta kiskostoon. Oveen suunniteltiin banaaniliittimet, jotka ovat kytketty suojarелеiden mittaustuloihin sekä digitaalisiin tuloihin ja lähtöihin. Banaaniliittimien avulla virtojen ja jännitteiden syöttäminen suojarелеille olisi helppoa ja koestuslaitteen kytkentä ja kytkennän muuttaminen nopeaa. Banaaniliittimet jaoteltiin eri riveihin, niin että jokaisella suojarелеellä oli omat rivinsä (Liite 1).

Kaapin sisälle suunniteltiin DIN-kiskoihin asennettavaksi riviliittimet, kippireleet, hälytyskeskus sekä jännitemuuntajat. Arviona oli, että riviliittimiä kaapin sisälle tarvittaisiin noin 300 kpl.



KUVA 11. Kokoonpanokuva kaapin etupuolesta ja kääntökehuksesta AutoCad näkymässä.

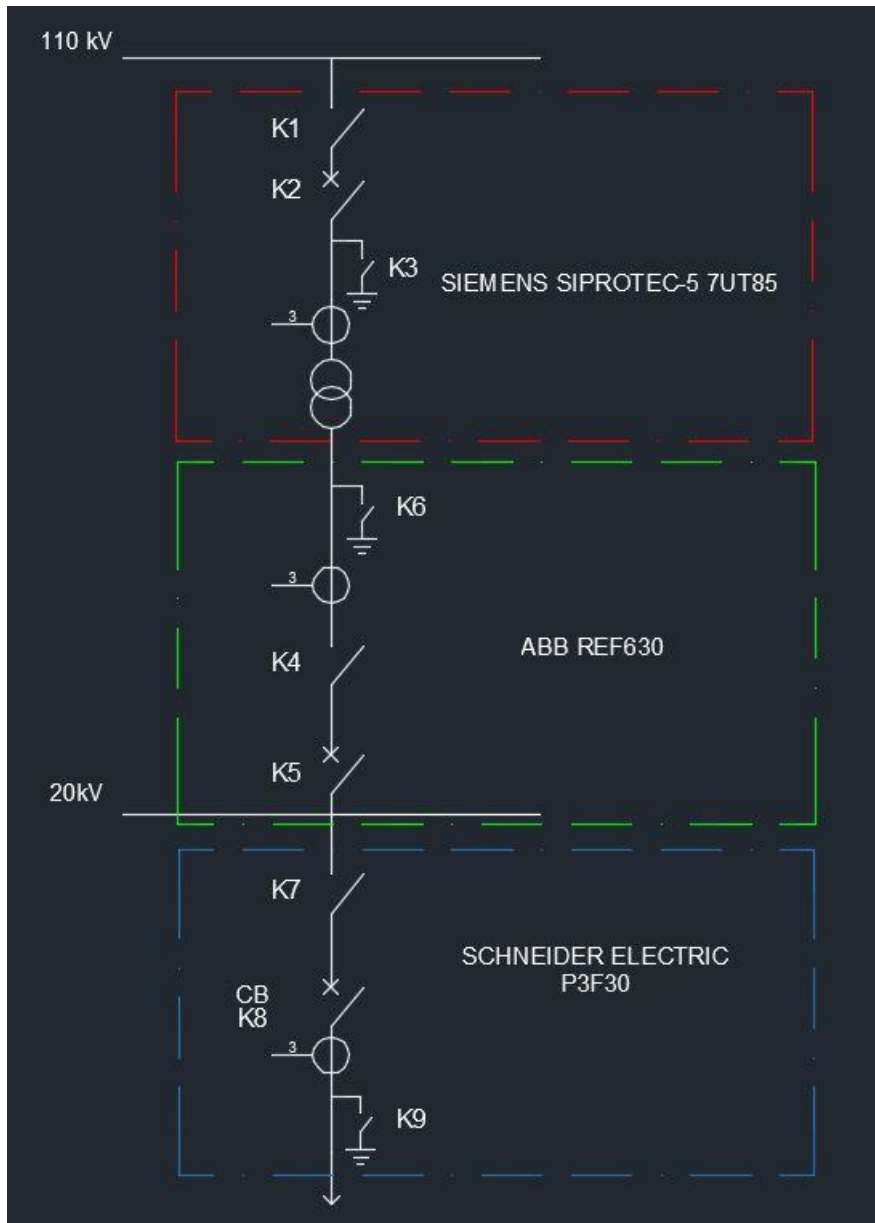
Kaapin kääntöoveen suunniteltiin tulevan teippausmerkinnällä pääkaavio (kuva 12). Pääkaaviosta näkee katkaisijoiden ja erottimien kuvitellut sijainnit suoraan kaapin ovesta. Teippi tilattiin ulkopuoliselta firmalta CAD-kuvien perusteella.



KUVA 12. Pääkaavion teippimerkintä.

3.3 Pääkaavio

Pääkaavio esittää oikeaa sähköasemalla olevaa järjestystä (kuva 13). Jokaisella suojareleellä on oma suojausalueensa. Sähkön kulku lähtee kaavion yläpäästä 110 kV:n jännitteestä ja kulkee erottimen ja katkaisijan kautta muuntajalle. Maadoituserotin ja mittamuuntajat sijaitsevat ennen muuntajaa. Muuntajan jälkeen löytyy maadoituserotin, mittamuuntajat 20 kV:n alueelle, erotin sekä katkaisija. 20 kV:n kiskosta jatketaan johtolähtönä erottimelle, katkaisijalle, mittamuuntajille sekä maadoituserottimelle. Koko pääkaavio tehtiin selkeyttämään kuviteltua tilannetta ja suojareleiden on tarkoitus toimia, kuten ne toimivat kyseissä tilanteissa oikealla sähköasemalla.



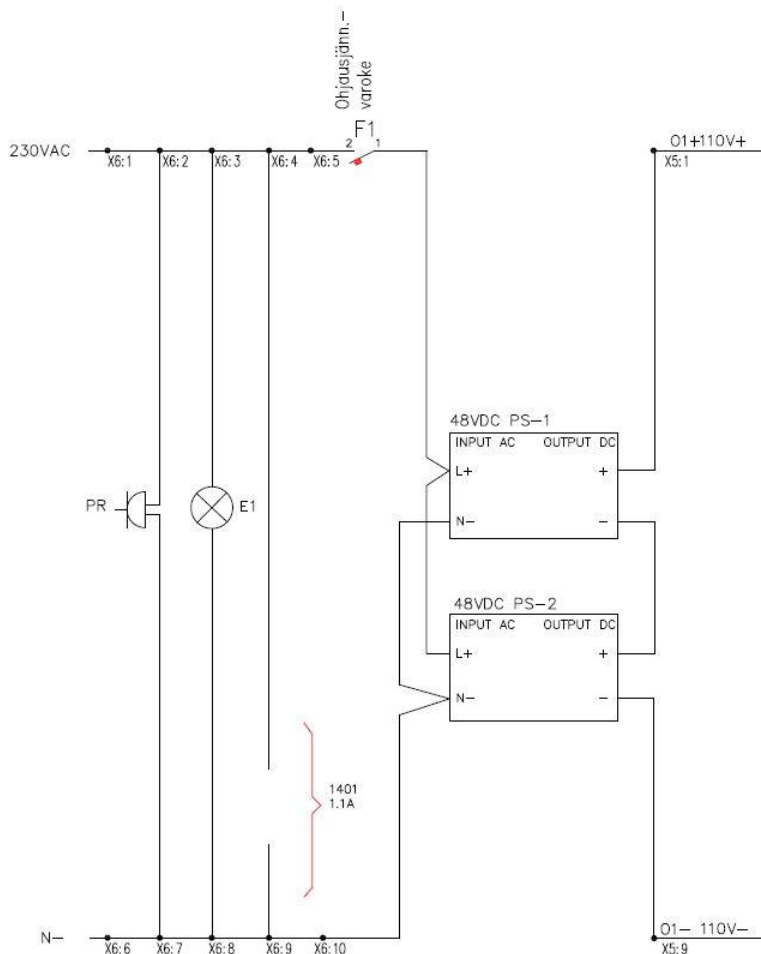
KUVA 13. Pääkaavio

3.4 Reikäkuvat

Kääntökehykseen asennettaviin räkkilevyihin pitää leikata reiät suojareleiden ja painonappien kiinnitystä varten. Tätä varten piirrettiin erilliset reikäkuvat (Liite 2), joista näkee tarkasti eri releille ja laitteille tarvittavat reikien koot. Näin reikien po-raaminen on nopeampaa, kun kaikki tarvittavat mitat löytyivät samasta paikasta.

3.5 Piirikaaviot

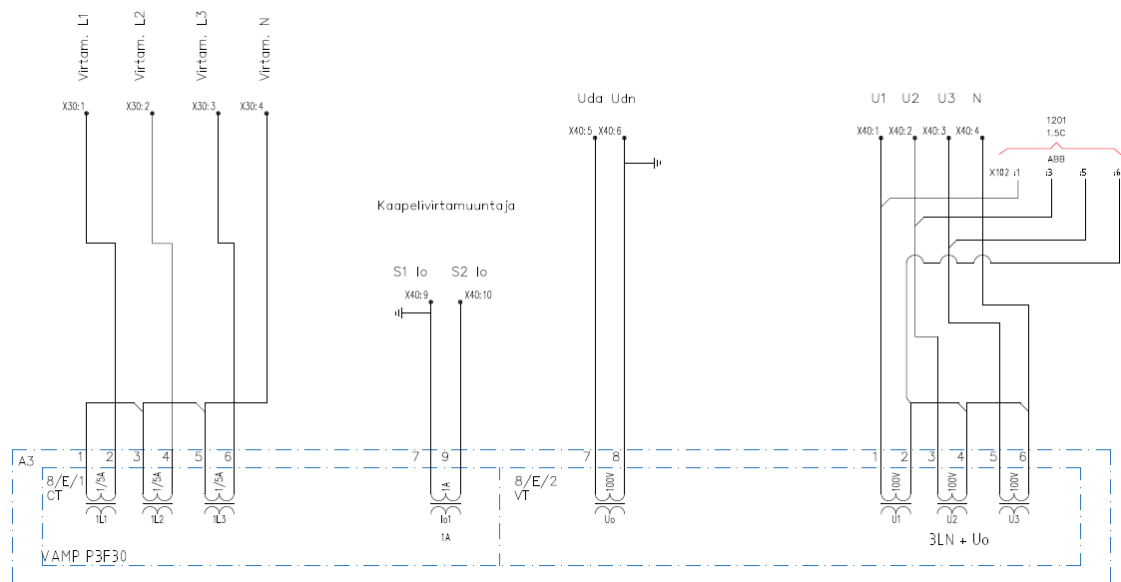
Suojarelekaapissa suunniteltiin käytettävän apusähköä 110 VDC jännitettä. Pienempi jännite katsottiin hieman turvallisemmaksi kaapin käytön osalta. Piirikaavioiden suunnittelu aloitettiin apusähkönsyötöstä releille ja muille laitteille (Liite 4). 230 VAC pitää muuntaa releille sopivaan 110 VDC muotoon jännitemuuntaajien avulla. Phoenix Contact -jännitemuuntaajat on tarkoitettu muuntamaan 100-240 VAC jännite 48 VDC jännitteeksi. Näitä kaksi yhteen kytkemällä kuvassa 14 näkyvällä tavalla saatiin aikaiseksi 110 VDC jännite. Suojareleiden tietojen siirrossa ja ohjaussignaaleissa käytetään samaa 110 VDC jännitettä. Koko kaappi kytketään verkkovirtaan normaalilla schuko-pistokkeella ja sen avulla jännite vietään riviliittimille. Jokaisen releen riviliittimille on oma DIN-kiskonsa. Tämä selkeyttää asennusta ja pitää kaapin selkeänä ja eri releille tulevat signaalit erillään toisistaan.



KUVA 14. Jännitemuuntajien kytkennät.

3.5.1 Releiden suojauskaaviot

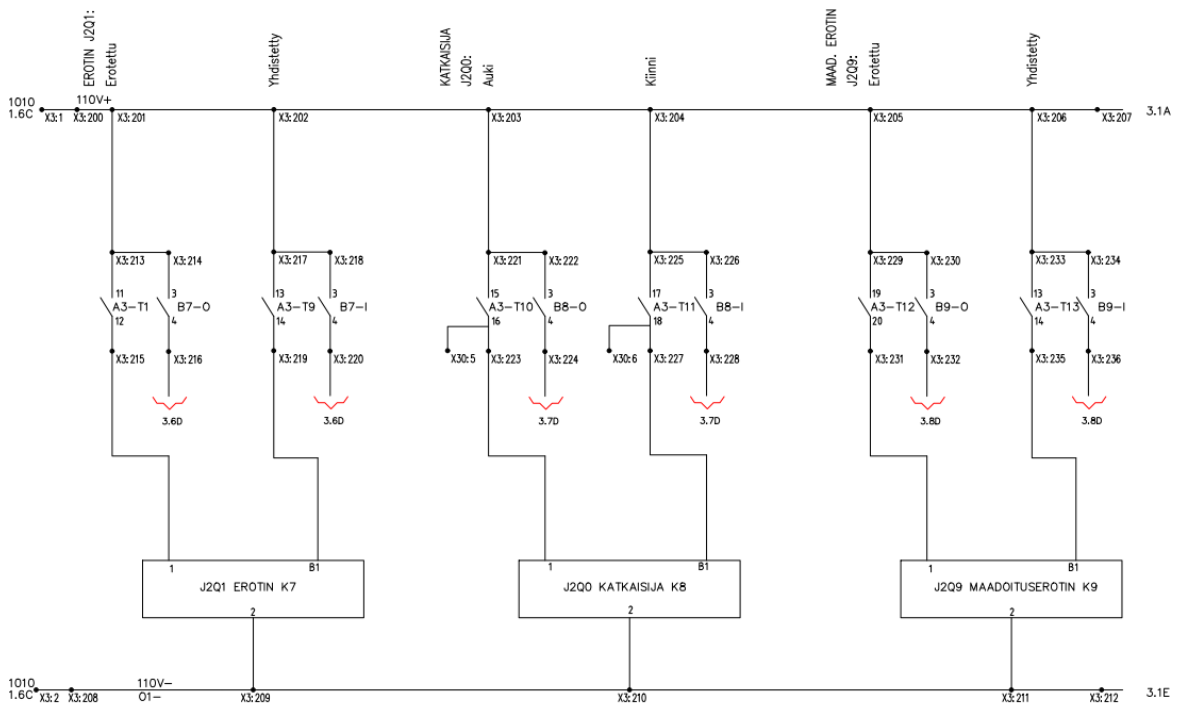
Jokaisesta suojareleestä löytyy omat piirikaaviokuvat, joissa esitetään erikseen suojauskaavio, ohjaukset, digitaalitulot sekä digitaallilähdöt (Liitteet 5, 6 ja 7). Suojauskaaviossa (kuva 15) esitetään jokaiselle releelle tulevat jännitteen ja virran mittaussignaalit banaaniliittimiltä. Jokainen vaihe kytketään omaan tuloonsa. Jännitemittauksien tulot on ketjutettu releestä toiseen. Näin neljän banaaniliittimen kautta saadaan mitattavaa jännitettä syötettyä kaikille releille yhtä aikaa.



KUVA 15. Suojauskaavio.

3.5.2 Ohjaukset

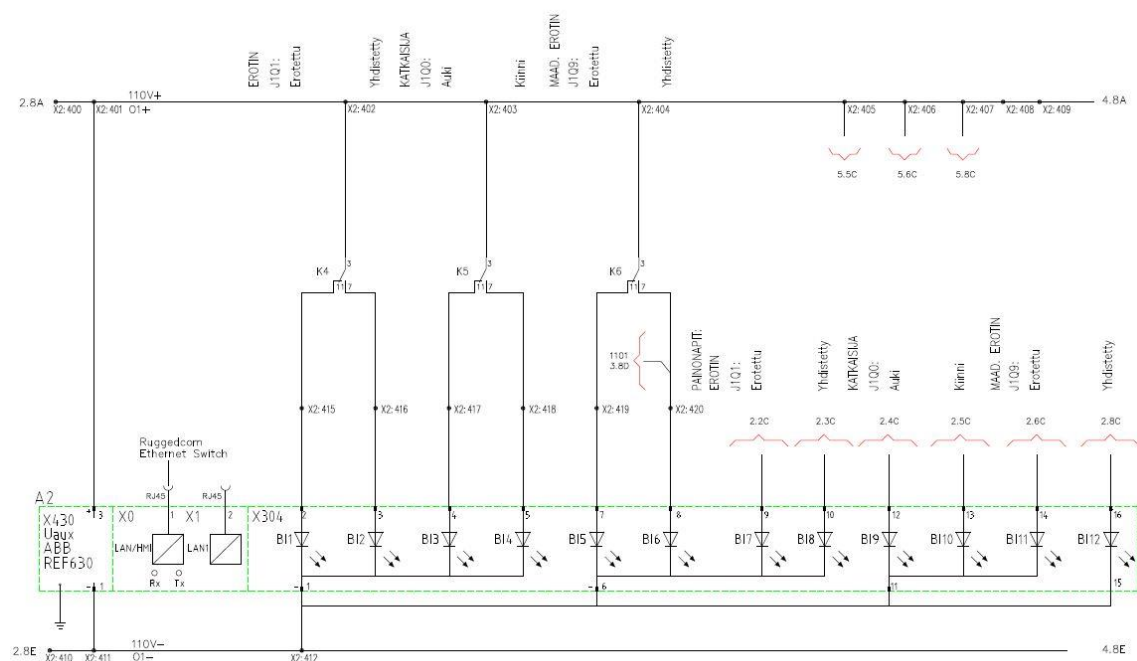
Relekaapissa kuvitteellisten katkaisijoiden ja erottimien virkaa hoitavat erilliset ARTECHE BF-4 -kippireleet (General Purpose Latching Relay). Näitä kippireleitä ohjataan sekä suojareleiden kautta mimiikasta että fyysisillä painonapeilla. Fyysiset I/O-painonapit kytketään suojareleiden digitaalituloihin. Ohjaukset-sivuilla on esitetty painonapit sekä suojareleiden digitaali-ohjaukset. Suojareleiden digitaali-ohjaukset on kytketty kippireleiden ohjausliittimiin. Kuvassa 16 näkyy esimerkkinä Ohjaukset Schneider Electric P3F30- suojareleen osalta. Kuvassa näkyy 110 VDC jakelu ylä- ja alareunassa. Kippireleet on numeroitu K7-K9.



KUVA 16. Schneider Electric Vamp P3F30 -suojareleen ohjaukset piirikaavio.

3.5.3 Suojareleen digitaalitulot

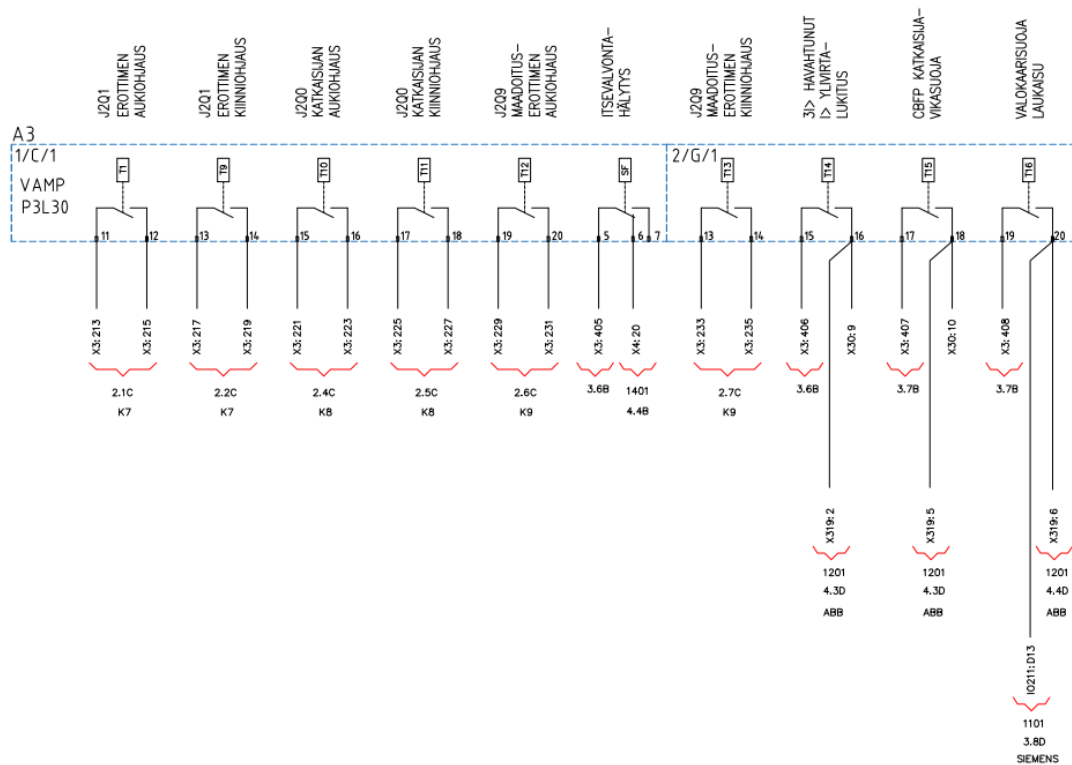
Kippireileiltä halutaan saada asentotieto takaisin suojaareleille, jotta suojaarele tietää kuvitellun katkaisijan tai erottimen asennon ja että se pystyy tarkkailemaan toimivatko kaikki ohjaukset oikein. Suojaareleen digitaalituloissa (kuva 17) on esitetty kippireiltä tulevat ohjaustiedot. Lisäksi piirustuksessa näkyy digitaalitulot painonappeja varten. Suojaareleiden RJ45-väylään on kytketty Siemensin Ruggedcom Ethernet Switch, joka jakaa väylää kulkevat tiedot eri releiden, hälytyskeskuksen sekä ala-aseman kesken.



KUVA 17. ABB REF 630 -suojareleen digitaalitulot.

3.5.4 Suojareleen digitaali­lähdöt

Suojareleen digitaali­lähdöt -ku­vissa on esitetty jokaisen suojareleen lähtösignaalit. Katkaisijoiden sekä erottimien ohjaukset tapahtuvat näillä lähdöillä. Jokainen suojarele antaa laukaisutiedon kippireleille. Ulostuloja käytetään myös muiden tietojen mm. katkaisijavikasuojan sekä havahtuneen ylivirtalukituksen eteenpäin viemisessä muille releille ja Omicron-koestuslaitteelle. Havahtunut ylivirtalukitus kertoo muille laitteille releellä mitattavien virta-arvojen ylittyneen. CBFP katkaisijavikasuoja antaa signaalin aikaisemmin sähkö­jakeluketjussa olevalle suojareleelle, mikäli katkaisija ei aukea sitä ohjattaessa. Itsevalvontahälytys antaa tiedon hälytyskeskukselle, mikäli suojarele sammuu. (Kuva 18.)



KUVA 18. Schneider Electric Vamp P3F30 -suojareleen digitaali­lähdöt piirikaavio.

3.BA 110V+ O1+

3.BE 110V- O1-

X1:408 X1:409

X1:421 X1:422

KUITTAUS B10-O

MUUNTAJAVIKA

K10

A1 K10 A2

X1 E2 K2

X1:413 X1:414

4.3C Muuntajavien pitopiiri

3.7B Releen inputtiin

2.5B 110kV QO Kinnahjesta

3.5.5 Beckhoff-hälytyskeskus

3.6 Johdotustaulukko

33

Riviliitinrimojen tunnuksina käytetään numeroitua X-sarjaa. X1-rima sijaitsee kaapin sisällä ylimpänä. Alemmaksi tultaessa tunnuksen numerointi kasvaa. Riviliittimissä käytetään numerointia, joka on mahdollisimman lähellä sähköasemilla käytettyä numerointia. Ohjauspiirien riviliittimet on numeroitu 200:sta lähtien. Asennonosoitukset on numeroitu 400:sta lähtien. Kaikkien muiden merkinnässä käytetään numerosta 1 lähtevää numerointia.

[illegible]

34

4 TOTEUTUS

4.1 Kasaaminen

Suojareleille, painonapeille ja banaaniliittimille tehtiin reiät kääntökehykseen tuleviin levyihin (kuva 21). Suojareleisiin tehtiin johdotukset ja ketjutukset valmiiksi ennen kiinnitystä (kuva 22). Johdotus on tehty 1,5 mm² johdoilla. Virtamittauksiin on käytetty paksumpaa 2,5 mm² johdinta.



KUVA 21. Relekaapin kasausta. Reiät räkkilevyissä suojareleitä varten sekä painonapit kiinnitettynä.



KUVA 22. Relekaapin kasausta. Pöydällä Schneider Electric P3F30 ja ABB REF 630 suojareleet.

ABB MNS Select -kaapit olivat vanhoja toisesta kohteesta purettuja ja jo pois käytöstä otettuja. Kaapin takaseinässä laitteet on asennettu DIN-kiskoon. Haastetta kasauksessa tuotti pohjalevyjen puuttuminen kaappien takaseinästä, mikä haittaisi DIN-kiskojen kiinnitystä. Kaapista oli tehtävä kuljetusta kestävä, joten kaikki laitteet piti saada kiinni tukevasti. Kaappiin tilattiin erikseen peltinen taka-levy, johon DIN-kiskot saatiin kiinnitettyä tukevasti.

Siemens Ruggedcom -kytkin osoittautui erittäin painavaksi, joten pelkästään etupuolelta kiinnitys kääntökehykseen ei riittänyt. Tätä varten kääntökehykseen asennettiin erillinen hylly tukemaan kytkintä alapuolelta. Kaapin kääntökehyksen taakse asennettiin kaapelikourut. Lopuksi kääntökehykseen teipattiin pääkaavion kuva suoja-areleiden viereen sekä nimet banaani liittimien yläpuolelle. (Kuva 23.)



KUVA 23. Relekaapin sisäpuoli.

4.2 Suojareleiden konfigurointi

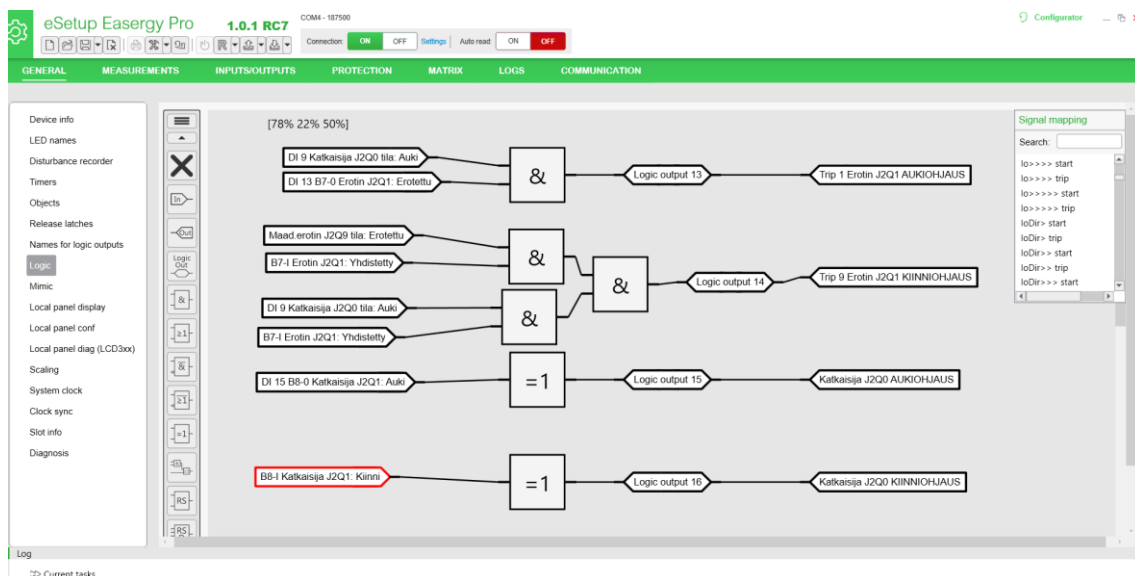
Suojareleille on tehtävä ohjelmallinen asetusten konfigurointi. Eri suojarelevalmistajilla on omat ohjelmansa releidensä konfigurointiin. ESetup Easergy Pro -ohjelmalla tehtiin peruskonfiguraatiota Schneider Electric P3F30 -releelle. Ohjelman valinnat on jaettu seitsemään eri osioon: General, Measurements, Inputs/Outputs, Protection, Matrix, Logs ja Communication.

General-osiosta löytyvät yleiset asetukset, logiikan ja mimiikan asettelut. Suojareleeseen näyttöön tehtiin mimiikka, joka oli suunnitellun pääkaavion mukainen. Se sisältää objekteina erottimen, katkaisijan ja maadoituserottimen, jotka näyttävät reaaliaikaisesti auki/kiinni-asentonsa.

Suojareleeseen oli konfiguroitava seuraavat lukitukset:

- Erotinta ei saa ohjata auki, jos katkaisija on kiinni.
- Erotinta ei saa ohjata kiinni, jos maadoituserotin on kiinni.
- Erotinta ei saa ohjata kiinni, jos katkaisija on kiinni.
- Maadoituserotinta ei saa ohjata kiinni, jos erotin on kiinni.

Haastavinta oli saada painonappien kautta toimivat ohjaukset estettyä näytöstä tapahtuvan ohjauksen lisäksi. Lopulta lukitukset tehtiin releen logiikkaan AND-lohkoja apuna käyttäen (kuva 24). Näin painonappien ohjaussignaalit saatiin estettyä.



KUVA 24. eSetup Easergy Pro-ohjelma. Lukitukset logiikassa.

Measurements-valikosta näkee eri mittauksien tiedot mm. jokaisen vaiheen virran ja jännitteen. Inputs/Outputs-valikossa määritellään tarvittavat sisään- ja ulos-tulot sekä niiden toiminta (kuva 25).

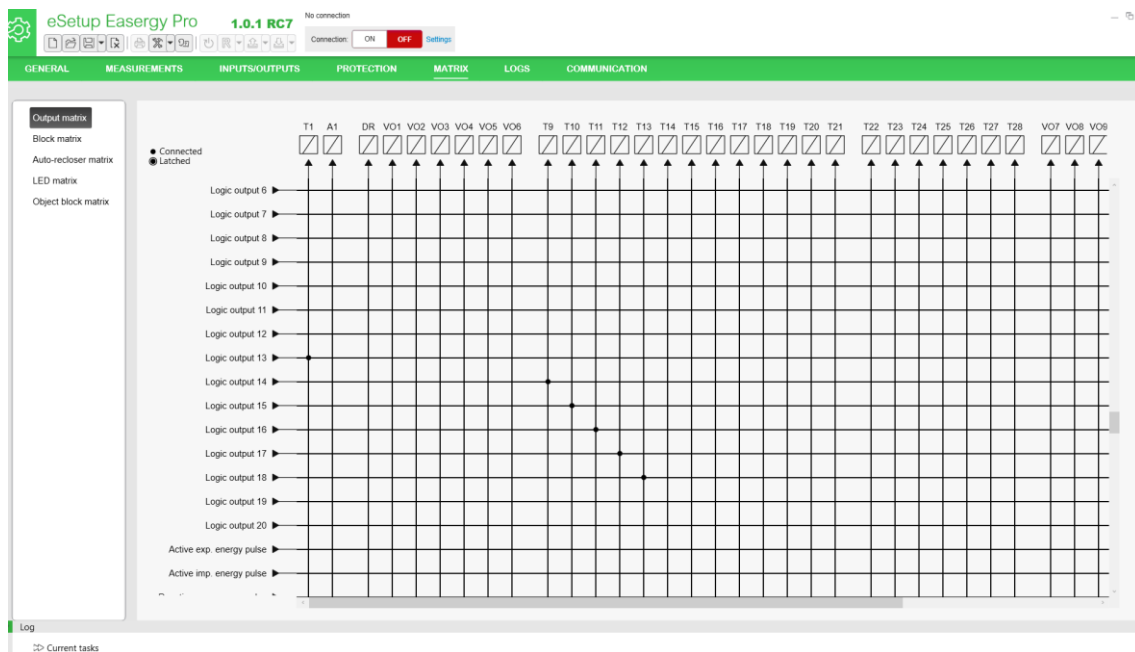
The screenshot shows the eSetup Easergy Pro 1.0.1 RC7 interface. The top bar includes a connection status (ON/OFF) and a settings button. The main menu has tabs for GENERAL, MEASUREMENTS, INPUTS/OUTPUTS, PROTECTION, MATRIX, LOGS, and COMMUNICATION. The left sidebar lists various configuration options, including Names for digital inputs. The main workspace displays a table of digital inputs.

Input	Slot	Label	Description
1	2	DI1	Eroin J2Q1 tila: Erotettu
2	2	DI2	Eroin J2Q1 tila: Yhdistetty
3	2	DI3	Katkaisija J2Q0 tila: Auki
4	2	DI4	Katkaisija J2Q0 tila: Kiinni
5	2	DI5	Maad.erotin J2Q9 tila: Erotettu
6	2	DI6	Maad.erotin J2Q9 tila: Yhdistetty
7	3	DI7	B7-0 Eroin J2Q1: Erotettu
8	3	DI8	B7-I Eroin J2Q1: Yhdistetty
9	3	DI9	B8-0 Katkaisija J2Q1: Auki
10	3	DI10	B8-I Katkaisija J2Q1: Kiinni
11	3	DI11	B9-0 Maad.erotin J2Q1: Erotettu
12	3	DI12	B9-I Maad.erotin J2Q1: Yhdistetty
13	4	DI13	Digital input 13
14	4	DI14	Digital input 14
15	4	DI15	Digital input 15
16	4	DI16	Digital input 16

KUVA 25. eSetup Easergy Pro -ohjelma. Digitaalisääntulot nimettynä.

Protection-valikossa pystyy valitsemaan tarvittavat suojaukset. Tässä tapauksessa on käytetty ensimmäistä ja toista ylivirtaporrasta (Phase overcurrent I_>, I_{>>}) sekä maasulkusuojausta (EF overcurrent I_o). Lisäksi käytössä on mm. CT supervision, breaker failure (CBFP) ja broken conductor -suojaukset. Valikoista valittiin käytettävät suojaukset, niiden toiminta-ajat sekä havahtumisarvot ja laukaisuarvot virtojen osalta.

Matrix-osion kautta eri tietoja ja tapahtumia voidaan määritellä ohjaamaan tiettyjä ulostuloja. Suojareleen digitaalisääntulot, joihin on kytketty erilliset painonapit, saadaan määrättyä ohjaamaan tiettyä Trip-kosketinta (kuva 26).



KUVA 26. eSetup Easergy Pro -ohjelma. Matrix-valikko.

Logs-osiosta pystyy tarkastelemaan suojareleen toimintojen tapahtumahistoriaa sekä nähdä mm. virta- ja tehomittauksien maksimiarvot per kuukausi.

Communication-valikon kautta valitaan IEC61850-standardin avulla lähetettävä data. Tämä RJ45-kaapelia pitkin kulkeva tieto kulkee ensin ethernet-kytkimelle ja sieltä edelleen ala-asemalle, joka osaa lukea IEC61850-standardin muotoon muutetun tiedon. IEC 61850 data map -valikoista valitaan haluttavat tiedot, jotka haluttaan lähettää ala-asemalle. Ala-asema muuntaa tiedot Scadan ymmärtämään muotoon.

4.3 Koestus

Koestus tehdään Omicron-koestuslaitteella. Koestuksessa releen mittaustuloihin ajetaan virtoja sekä jännitteitä halutuilla arvoilla. Koestuslaite kytketään virta-
muuntajien ja jännitemuuntajien toisiopuolen ja releen mittaustulojen väliin. Suojareleekaapin tapauksessa kytkeydytään kääntökehykseen suunniteltuihin ba-
naaniliittimiin, jotka ovat taas yhteydessä suojareleisiin. Suojareleeltä saadaan
haluttuja tietoja sen toiminnasta. Näin saadaan mitattua suojareleen toiminta-ajat
mm. katkaisijoiden laukaisulle. (Kuva 27.)



KUVA 27. Relekoestus käynnissä.



KUVA 28. Valmis suojarelekaappi.

5 POHDINTA JA LOPPUTULOKSEN ARVIOINTI

Tavoitteena oli että relekaappi toimii jatkossa relesuojauksen, konfiguroinnin ja koestuksen esittelykaappina messuilla ja asiakastapaamisissa. Kaappia voidaan käyttää myös testausalustana sekä opastuksessa. Relekaappiin on mahdollista tehdä lisäyksiä jälkeenpäin. Ainakin jo suunniteltu valokaarisuojaus ja -sensori on havainnollista saada mukaan. Useamman vastaavan relekaapin kokoaminen on mahdollista tehtyjen kuvien perusteella.



*KUVA 29. Suojarelekaappi esillä Jyväskylän Sähkö Tele Valo AV -messuilla.
(Kuva: Juho Jaakkola)*

Työ onnistui erittäin hyvin ja tavoitteet tulivat täytetyiksi. Suunnitelmien perusteella kasattu ja asennettu relekaappi tuli valmiiksi aikataulun mukaan, toimii odotetusti ja täyttää tehtävänsä. Relekaappi oli esillä Jyväskylän sähkömessuilla keväällä 2018 ja sitä oli käynyt katsomassa useita kiinnostuneita (kuva 29). Kaapin suunnittelussa monien työvaiheiden tekeminen ensimmäistä kertaa oli uutta ja opettavaista.

LÄHTEET

1. Korpinen, Leena. Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Saatavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf Hakupäivä: 1.2.2018
2. Kuva sähköasemasta. 2018. Saatavissa: <https://pixabay.com/fi/s%C3%A4hk%C3%B6aseman-s%C3%A4hk%C3%B6asema-s%C3%A4hk%C3%B6-1705954/> Hakupäivä: 16.4.2018
3. Hietalahti, Lauri 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Tammer-tekniikka Oy.
4. Korpinen, Leena. Sähköverkon automaatio ja suojaus. Saatavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/5sahkoverkon_automatio_ja_suojaus.pdf. Hakupäivä: 15.1.2018
5. VAMP 300F/M User manual, 2017. Saatavissa: <https://www.schneider-electric.com/en/product-range-download/62312-vamp-300-series/>. Hakupäivä: 1.12.2017
6. Seppänen, Juha 2015. Suojareleet. Saatavissa: https://moodle.oamk.fi/pluginfile.php/138427/mod_resource/content/0/suojareleet_Seppanen.pdf Hakupäivä: 11.1.2018
7. ABB: Sähköasemat. Saatavissa: <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/38a7-da5a3befd4a9c125784d0053e384.aspx> Hakupäivä: 15.1.2018
8. ABB COM600S Product Guide 2017. Saatavissa: <http://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/distribution-automation-solutions/substation-distribution-grid-automation-com600-series/substation-management-unit-com600s>. Hakupäivä: 15.1.2018
9. Siemens Siprotec 7UT85 <http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/protection/transformer-differential-protection/pages/7ut85.aspx> Hakupäivä 1.2.2018

LIITTEET

(Salaisia toimeksiantajan pyynnöstä)

Liite 1 Kokoonpanokuva

Liite 2 Reikäkuvat

Liite 3 Pääkaavio

Liite 4 Releiden apusähköt

Liite 5 Siemens 7UT85 -piirikaaviot

Liite 6 ABB REF 630 -piirikaaviot

Liite 7 Schneider Electric P3F30 -piirikaaviot

Liite 8 Beckhoff-hälytyskeskuksen piirikaaviot

Liite 9 Ruggedcom-kytkimen piirikaaviot

Liite 10 Johdotustaulukko

